

УДК 574.587(262.81):576.3/7
ББК 28.082.32(961):24.115.1

Э. И. Мелякина, Ю. Т. Пименов, М. А. Мусаев, А. В. Махлун

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАССЕЯННЫХ МЕТАЛЛОВ В БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАСПИЯ

E. I. Melyakina, Yu. T. Pimenov, M. A. Musaev, A. V. Makhlun

FEATURES OF DISTRIBUTION OF SCATTERED METALS IN BENTHIC COMMUNITIES OF THE NORTH-WEST CASPIAN SEA

Исследуются особенности распределения меди, цинка и никеля в грунтах и бентосных организмах Северо-Западного Каспия. Особое внимание уделено изучению механизма и характера минерального обмена между водными организмами и окружающей средой, в том числе биогеохимических циклов миграции химических элементов в системе «грунт-бентос». Установлено, что распределение меди, цинка и никеля в бентосных сообществах Северо-Западного Каспия от глубины моря зависит слабо. Грунты Северо-Западного Каспия характеризуются очень низким содержанием цинка и меди и пониженным содержанием никеля. С помощью вычисленных коэффициентов миграции определено, что в исследованных бентосных сообществах никель в большей степени накапливают бентосные животные, а медь и цинк – растения.

Ключевые слова: бентос, грунт, биогеохимические циклы, водоросли, моллюски, медь, цинк, никель, Северо-Западный Каспий.

The features of the distribution of copper, zinc, nickel in soils and benthic organisms of the North-West Caspian Sea are studied. A particular attention is paid to the study of the mechanism and nature of mineral exchange between water organisms and the environment, including the biogeochemical cycles of migration of chemical elements in the system "soil-benthos". It is stated that the distribution of copper, zinc and nickel in the benthic communities of the North-West Caspian Sea does not strongly depend on the depths of the sea. The soils of the North-West Caspian Sea are characterized with a very low content of zinc and copper and a reduced nickel content. Using the calculated coefficients of migration, it is determined that among the investigated benthic communities nickel is largely accumulated by benthic animals, while copper and zinc – by plants.

Key words: benthos, soil, biogeochemical cycles, algae, mollusks, copper, zinc, nickel, North-West Caspian Sea.

Оптимизация любых биоценозов, в том числе и водных, достигается прежде всего сбалансированным поступлением химических элементов в живые организмы, что требует изучения различных экосистем на биогеохимическом уровне. Для водных экосистем это исследования сходства и различий в содержании микроэлементов между компонентами биоценозов с учетом пространственного распределения, при изучении сообществ бентосных организмов – в зависимости от изменения глубины водоема, а также типа грунта.

В различных геохимических условиях среды биогеохимическая пищевая цепь, благодаря количественным и качественным изменениям, может быть использована для характеристики субрегионов биосферы. Изменчивость биогеохимической цепи может достигать значительных величин, но она должна быть в определенной степени лимитирована содержанием химических элементов в компонентах экосистемы.

Водные экосистемы характеризуются значительным разнообразием распределения и миграции элементов. Понимание закономерностей миграции химических элементов в водоемах невозможно без выяснения путей и процессов их концентрирования и обмена в организмах, потребности гидробионтов в микроэлементах, установления их пороговых, токсических и биотических концентраций и природы естественных, содержащих металлы соединений, формы которых могут изменяться в процессе миграции через грунты, воды, первичную продукцию, планктон, макрофиты, бентосную фауну и рыб. Следует отметить, что в пищевых цепях происходит процесс отсеивания – уменьшения количества одних элементов и накопления – увеличения концентрации других [1]. Целью предпринятых нами исследований являлся биогеохимический анализ грунта, а именно распределение меди, цинка и никеля в грунтах и в некоторых представителях зоо- и фитобентоса

Северо-Западного Каспия. Выявленные закономерности изменения содержания меди, цинка и никеля в составе бентосных сообществ, удаленных от берега, позволят проследить пространственное и глубинное распределение этих микроэлементов в грунтах и бентосных организмах северо-западной части Каспийского моря.

Материал и методы исследования

Объекты исследования – пробы грунтов, различающихся по типу (ракушечный, песчано-ракушечный и илесто-ракушечный); донных водорослей, обитающих на данных грунтах – энтероморфа извилистая (*Enteromorpha flexuosa*), кладофора сборная (*Cladophora glomerata*); раковинных моллюсков – митилястер (*Mytilaster lineatus*), церастодерма (*Cerastoderma lamarcki*); усоногих ракообразных – баянус или морской желудь (*Balanus improvisus*), который живет, прикрепляясь к субстрату. Пробы отбирали и подготавливали по существующему стандарту по отбору и подготовке проб для химического анализа грунтов. Количественный анализ металлов проводили по методическим указаниям атомно-абсорбционного анализа [2, 3] на атомно-адсорбционном спектрофотометре Hitachi 180-50. Применялась трехщелевая ацетилено-пропановая горелка, газ – пропан, окислитель – воздух. Для каждого металла использовалась отдельная лампа с полым катодом.

Результаты исследований

Никель. Результаты анализа показали, что количество никеля в донных отложениях несколько возрастает в южном направлении – от 19,6 мг/кг на мелководной станции до 29 мг/кг на станции с глубинами до 50 м, а по направлению к востоку концентрация никеля снижается до 7,2 мг/кг на станции с глубинами до 5 м. Среднее содержание этого элемента в грунтах Северо-Западного Каспия составляет 19,6 мг/кг. Согласно результатам анализа, самыми бедными по содержанию никеля являются илесто-ракушечные грунты (7,2 мг/кг), наиболее богатыми – ракушечные грунты (23,45 мг/кг), песчано-ракушечные грунты содержат среднее количество никеля – 18,6 мг/кг.

Для никеля коэффициент концентрации в морских грунтах равен 0,37, что говорит о низком содержании никеля в грунтах по сравнению с литосферой.

Следует отметить, что нет принципиального различия в аккумуляции никеля в фито- и зообентосе. Среднее содержание этого элемента в растительных и животных образцах отличается незначительно – 20,1 и 24,9 мг/кг соответственно.

Установлено, что концентрация никеля имеет положительную корреляцию у таких представителей зообентоса, как митилястер и баянус (коэффициент корреляции $r = 0,96$).

Положительная корреляция по никелю наблюдается также у раковины и тела церастодермы ($r = 0,7$). Раковины этих моллюсков утилизируют никеля больше, чем тела – 23,9 и 16,0 мг/кг соответственно.

На примере церастодермы прослеживается положительная корреляция в изменении содержания никеля в системе «грунт – моллюск» с увеличением глубины от 3 до 50 м (коэффициент корреляции $r = 0,62$).

Содержание никеля у водорослей энтероморфа извилистая и кладофора сборная положительно коррелирует только на небольших глубинах (3–10 м, $r = 0,7$), а на большой глубине характер корреляции меняется на отрицательный, т. е. содержание никеля в энтероморфе падает, а в кладофоре растет.

Медь. Содержание меди в грунтах, как и содержание других микроэлементов, определяется главным образом их содержанием в материнских породах, а также характером органических отложений. Для меди характерна значительная биогенность, высокая контрастность миграции, склонность к комплексообразованию и адсорбции.

Содержание меди в грунтах в южном направлении сначала немного возрастает, достигая величины 10 мг/кг на глубинах 5–10 м, затем, с увеличением глубины до 50 м, плавно снижается. Среднее содержание этого металла в грунтах на изученных станциях Северо-Западного Каспия составляет 5,6 мг/кг. Определенной зависимости содержания меди от типа грунта нами не выявлено.

Коэффициенты концентрации (K_k) меди в изученных экотопах, рассчитанные нами, свидетельствуют о том, что грунты исследованных водоемов характеризуются относительно низкой способностью к накоплению меди, концентрация которой в исследованных грунтах значительно ниже ее средних концентраций в литосфере [4].

Микроэлементный анализ грунтов и организмов бентоса в зависимости от глубины показал, что концентрация меди в биотических компонентах бентосных сообществ зависит от глубины моря. Отмечено, что с увеличением глубины моря изменение содержания меди носит неоднородный характер. Однако можно отметить следующие особенности:

- низкое содержание меди в грунтах – 5,6 мг/кг;
- различие в аккумуляции меди между фито- и зообентосом – 22,8 и 6,45 мг/кг соответственно, т. е. концентрация меди в водорослях в 3,5 раза выше.

Следует отметить, что среднее содержание меди в теле изученных морских двусторчатых моллюсков очень низкое, оно значительно меньше, чем ее количество в грунтах – 5,2 мг/кг и 5,6 мг/кг соответственно. Так, усоногий рак-баланус содержит вдвое больше меди (10,1 мг/кг), чем изученные морские двусторчатые моллюски.

Концентрация меди в раковинах церастодермы положительно коррелирует с ее содержанием в грунтах (коэффициент корреляции $r = 0,65$).

Макрофиты – растительные организмы, имеющие большое значение в продукционном балансе водоёма. Они создают основную часть первичного органического вещества – материальную и энергетическую основу существования водных и околоводных животных, оказывают сильное средообразующее влияние, изменяют газовый режим и активируют реакцию воды, определяют локальную гидродинамическую обстановку, участвуют в обмене макро- и микроэлементов и трансформации донных отложений, служат средой обитания и пищей многих бентосных животных и рыб.

Нами установлена высокая степень накопления меди донными водорослями – 22,8 мг/кг, особенно кладофорой – 30,7 мг/кг. Четко выраженной динамики утилизации меди кладофорой сборной не установлено, а для энтероморфы извилистой характерно некоторое снижение концентрации меди по мере увеличения глубины.

Цинк. Содержание цинка в грунтах в южном направлении сначала резко возрастает, достигая 37,8 мг/кг на глубинах 3–20 м, затем, на глубинах 10–50 м, снижается до 2 мг/кг, после чего снова увеличивается и на глубинах близких к 50 м достигает концентрации 30 мг/кг. Среднее содержание этого элемента в донных отложениях Северо-Западного Каспия составляет 13,9 мг/кг. Определенной зависимости содержания цинка от типа грунта нами не обнаружено.

Грунты Северо-Западного Каспия характеризуются относительно низкой способностью к накоплению цинка, концентрация которого в исследованных грунтах значительно ниже средних концентраций этого элемента в литосфере [4]. Коэффициент концентрации составляет всего 0,17.

Нами выявлены изменения концентрации цинка в компонентах бентосных сообществ в зависимости от характеристики экотопа (донных отложений), которые заключаются в следующем:

- с увеличением глубины моря однозначной динамики содержания цинка в грунтах не обнаружено;
- установлено повышение концентраций цинка на глубине 5–10 м как в грунтах (37,8 мг/кг), так и в бентосных организмах (в среднем – 24 мг/кг) по сравнению с грунтом и донными организмами на других глубинах;
- различий в аккумуляции цинка между фито- и зообентосом не выявлено.

Следует отметить положительную корреляцию между содержанием цинка в грунтах и в теле церастодермы ($r = 0,2$).

Определено принципиальное различие между содержанием цинка в раковине и теле церастодермы – 2,3 и 40,5 мг/кг соответственно.

Установлено, что среднее содержание цинка в фитобентосе уменьшается с глубиной от 28,3 до 20,0 мг/кг сухого вещества.

Таким образом, в результате исследований выявлено, что самыми бедными по содержанию никеля являются илесто-ракушечные грунты (7,2 мг/кг), наиболее богатыми – ракушечные грунты (23,45 мг/кг), при среднем содержании 19,6 мг/кг. Среднее содержание меди и цинка в грунтах Северо-Западного Каспия составляет 5,6 и 13,9 мг/кг соответственно. В целом грунты Северо-Западного Каспия характеризуются очень низким содержанием цинка и меди и пониженным содержанием никеля.

Коэффициенты концентраций (по отношению к кларку) приведены в таблице.

Коэффициент концентрации меди, цинка и никеля в грунтах Северо-Западного Каспия

Элемент	Кларк, мг/кг сухого вещества	Содержание элементов в грунтах, мг/кг	K_k
Cu	47	5,6	0,12
Zn	83	13,9	0,17
Ni	53	19,6	0,37

Заключение

Таким образом, результаты исследований показали, что распределение Cu, Zn и Ni в бентосных сообществах Северо-Западного Каспия зависит от глубины моря. Повышение концентрации меди и цинка в них отмечено уже на глубине 10 м, а повышенная утилизация никеля бентосными организмами характерна для более глубоких районов моря (50 м).

Накопление рассеянных элементов моллюсками и макрофитами имеет свои особенности. В связи с тем, что они являются малоподвижными организмами, окружающая среда оказывает на их химический состав более выраженное действие, чем на планктонные организмы. Моллюски могут накапливать большое количество микроэлементов, в несколько раз превышающее их концентрацию в воде и грунте. Большее количество микроэлементов моллюски накапливают телом. Концентрация накопленных элементов зависит от видовых особенностей животных и мест их обитания [5].

Определены особенности утилизации никеля, меди и цинка зоо- и фитобентосом. Концентрация меди в водорослях выше, чем у представителей зообентоса – 22,8 и 6,45 мг/кг соответственно. Наиболее выраженная утилизирующая способность меди обнаружена для кладофоры сборной – 30,7 мг/кг. Представитель усоногих раков – баянус – содержит вдвое больше меди (10,1 мг/кг), чем изученные виды двустворчатых моллюсков (5,2 мг/кг). Определены коэффициенты миграции для Cu, Zn и Ni в системах «грунт – зообентос», «грунт – водоросли», которые составляют для никеля в системе «грунт – зообентос» 1,27, а в системе «грунт – водоросли» – 1,01. Никель в большей степени накапливается зообентосом, а медь и цинк лучше аккумулируются водорослями. Для меди коэффициент миграции в системе «грунт – зообентос» составляет 1,15, а в системе «грунт – водоросли» – 4,05; для цинка коэффициенты миграции в изученных системах соответственно равны – 1,4 и 1,6. Из полученных результатов видно, что распределение Cu, Zn и Ni в бентосных сообществах Северо-Западного Каспия от глубины моря зависит слабо. С помощью вычисленных коэффициентов миграции определено, что в исследованных бентосных сообществах никель в большей степени накапливают бентосные животные, а медь и цинк – растения. Изученные химические элементы по содержанию в грунтах, фито- и зообентосе имеют одинаковый в качественном отношении убывающий ряд: Ni > Zn > Cu.

Полученные данные могут быть использованы при изучении сезонного мониторинга содержания этих металлов, а также динамики их миграционной способности в процессе сукцессии и с изменением глубины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальский В. В. Геохимическая экология / В. В. Ковальский. М.: Наука, 1974. 300 с.
2. Брицке М. Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ / М. Э. Брицке. М.: Химия, 1982. 232 с.
3. Прайс С. В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия / С. В. Прайс. М.: Мир, 1976. 355 с.
4. Виноградов А. П. Микроэлементы и задачи науки / А. П. Виноградов. М.: Агрохимия, 1965. № 8. С. 20–31.
5. Ермаков В. В. Геохимическая экология животных / В. В. Ермаков, С. Ф. Тютиков. М.: Наука, 2008. 315 с.

REFERENCES

1. Koval'skii V. V. *Geokhimičeskaja ekologija* [Geochemical ecology]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 300 p.
2. Britske M. E. *Atomno-absorbtsionnyi spektrokhimičeskii analiz* [Atom-absorption spectrum chemical analysis]. Moscow, Khimiia Publ., 1982. 232 p.
3. Prais S. V. *Analiticheskaia atomno-absorbtsionnaia spektroskopija* [Analytical atom-absorption spectroscopy]. Moscow, Mir Publ., 1976. 355 p.
4. Vinogradov A. P. *Mikroelementy i zadachi nauki* [Microelements and scientific tasks]. Moscow, Agrokimiia Publ., 1965, no. 8, pp. 20–31.

5. Ermakov V. V. *Geokhimicheskaja ekologija zhivotnykh* [Geochemical ecology of animals]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 315 p.

Статья поступила в редакцию 5.07.2013

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мелякина Эльвира Ивановна – Астраханский государственный технический университет; канд. биол. наук; доцент кафедры «Гидробиология и общая экология»; melyakina_el@mail.ru.

Melyakina Elvira Ivanovna – Astrakhan State Technical University; Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; melyakina_el@mail.ru.

Пименов Юрий Тимофеевич – Астраханский государственный технический университет; д-р. хим. наук; профессор; профессор кафедры «Химическая технология переработки нефти и газа»; melyakina_el@mail.ru.

Pimenov Yuriy Timifeevich – Astrakhan State Technical University; Doctor of Chemical Sciences, Professor; Professor of the Department "Chemical Technology of Oil and Gas Processing"; melyakina_el@mail.ru.

Мусаев Манас Алимбетович – Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Гидробиология и общая экология»; melyakina_el@mail.ru.

Musayev Manas Alimbetovich – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; melyakina_el@mail.ru.

Махлун Анастасия Витальевна – Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Гидробиология и общая экология»; anastasia_lavrinenko@mail.ru.

Makhlun Anastasia Vitalievna – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; anastasia_lavrinenko@mail.ru.